

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra obrábění a montáže**

**Frézování korozivzdorných ocelí**

**Milling of stainless steel**

**Student:**  
**Vedoucí bakalářské práce:**

**Michal Minář**  
**Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.**

**Ostrava 2012**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Minář**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Frézování korozivzdorných ocelí**  
**Milling of Stainless Steels**

Zásady pro vypracování:

1. Přehled používaných korozivzdorných ocelí na trhu.
2. Vlastnosti vybraných korozivzdorných ocelí.
3. Vytipování korozivzdorných ocelí pro experimentální zkoušky obrábění na zkušebně obrábění Pramet Tools s.r.o.
4. Praktické zkoušky obrábění s vytipovanými nástroji.
5. Vyhodnocení zkoušek obrábění.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.  
[2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.  
[3] VASILKO, K. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.  
[4] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapres Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Martin Binder**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

## **MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ STUDENTA**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Tato práce byla vypracována se souhlasem vedení společnosti Pramet Tools s.r.o. v Šumperku.

V Ostravě 21. 5. 2012



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21. 5. 2012



.....  
podpis studenta

**Adresa trvalého pobytu autora práce:**

Hlavní 229

Hanušovice

788 33

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Minář, M. *Frézování korozivzdorných ocelí. Bakalářská práce.* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 46 s. Vedoucí práce: Petřkovská, L.

Bakalářská práce se zabývá problematikou obrábění korozivzdorných ocelí rovinným frézováním. V úvodu jsou popsány charakteristické vlastnosti korozivzdorných ocelí a přehledem nejpoužívanějších korozivzdorných ocelí na trhu. Další část práce se věnuje popisu a charakteristice nástrojů a VBD, které byly použity při praktických zkouškách. Hlavní část této práce se zabývá praktickými zkouškami obrábění na vybraných korozivzdorných ocelích a následnému vyhodnocení těchto zkoušek. V závěru jsou shrnuty poznatky získané z praktických zkoušek.

Klíčová slova: korozivzdorná ocel, nerez, rovinné frézování, Pramet

## **ANNOTATION TO BACHELOR THESIS**

Minář, M. *Milling of stainless steel. Bachelor work.* Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, 46 p. Thesis head: Petřkovská, L.

The Bachelor thesis deal with questions of machining of stainless steel with face milling. On the introduction we acquaint with characteristics properties of stainless steels and summary of the most using of stainlees steels on the market. Next chapter describes about main characteristics of tools and indexable inserts, which was used during practical tests. The main part focuses on practical tests with chosen sort of stainless steels with follow-up evaluation from tests. At the end are describes all knowledges and results from practical tests.

Keywords: stainless steel, rustless, face milling, Pramet

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat všem, kteří se podíleli přímo nebo nepřímo na této práci. Chtěl bych poděkovat pracovníkům společnosti Pramet Tools, s.r.o. za jejich čas při praktických zkouškách, hlavně panu Ing. Martinu Binderovi za odborné rady a vstřícný přístup. Velké díky patří paní Ing. Lence Petřkovské, Ph.D., která se starala o vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat rodičům za podporu a trpělivost během studia. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat panu Ing. Stanislavu Osladilovi, mému bývalému učiteli předmětů technického zaměření, který mě naučil mnoho základních věcí, od kterých jsem se později snadněji rozvíjel.

## Obsah

<b>Seznam použitých značek .....</b>	<b>8</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Korozivzdorné oceli .....</b>	<b>10</b>
1.1 Charakteristické vlastnosti korozivzdorných ocelí .....	10
1.2 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí .....	14
1.3 Přehled používaných korozivzdorných ocelí na trhu .....	16
<b>2 Vlastnosti vybraných korozivzdorných ocelí .....</b>	<b>16</b>
<b>3 Experimentální zkoušky obrábění na vybraných korozivzdorných ocelích</b>	<b>20</b>
3.1 Popis a charakteristika nástrojů a VBD .....	20
3.1.1 Nástroje SECO .....	20
3.1.2 Nástroje TaeguTec .....	24
<b>4 Praktické zkoušky obrábění .....</b>	<b>25</b>
4.1 Utváření třísky v místě řezu .....	26
4.1.1 Volba řezných podmínek .....	29
4.2 Trvanlivostní zkoušky obrábění .....	30
4.2.1 Volba řezných podmínek .....	31
<b>5 Vyhodnocení zkoušek obrábění .....</b>	<b>32</b>
5.1 Utváření třísek v místě řezu .....	32
5.2 Trvanlivostní zkoušky obrábění .....	35
5.3 Návrh řešení koncepce nástroje .....	42
<b>6 Závěr .....</b>	<b>43</b>
<b>7 Seznam použité literatury .....</b>	<b>44</b>
<b>8 Seznam obrázků .....</b>	<b>45</b>
<b>9 Seznam tabulek .....</b>	<b>46</b>
<b>10 Seznam grafů .....</b>	<b>46</b>
<b>11 Seznam příloh .....</b>	<b>46</b>

## Seznam použitých značek

VBD – vyměnitelná břitová destička

HRC – tvrdost dle Rockwella [-]

$\gamma$  – oblast gama v tavenině [°]

HB – tvrdost dle Brinella [-]

ČOV – čističky odpadních vod

R<sub>m</sub> – pevnost v tahu [MPa]

R<sub>p</sub> – mez kluzu [MPa]

l<sub>1</sub> – výška frézy [mm]

a<sub>p</sub> – hloubka řezu [mm]

$\gamma_o$  – řezný úhel čela [°]

$\gamma_f$  – radiální úhel čela [°]

$\kappa$  – hlavní úhel břitu nástroje [°]

a<sub>e</sub> – šířka záběru [mm]

v<sub>c</sub> – řezná rychlost [m · min<sup>-1</sup>]

n – otáčky nástroje [min<sup>-1</sup>]

f<sub>z</sub> – posuv na zub [mm · zub<sup>-1</sup>]

f – posuv [mm · min<sup>-1</sup>]

R<sub>a</sub> – průměrná aritmetická výchylka posuzovaného profilu [μm]

R<sub>z</sub> – maximální výchylka posuzovaného profilu [μm]

T – trvanlivost [min]

K – řezivost [%]

VB – opotřebení hlavního břitu [mm]

VB<sub>cl</sub> – opotřebení na špičce hlavního břitu [mm]



## Úvod

Frézování korozivzdorných ocelí se řadí mezi náročnější obráběcí procesy. Všeobecnou snahou je dosahovat vysoké produktivity, předepsané jakosti obrobeného povrchu a minimalizovat náklady. Hlavním předpokladem pro úspěšné zvládnutí těchto kritérií je dokonalá znalost technologie obrábění frézováním. Každý obráběný materiál má různé vlastnosti, ať už chemické, mechanické, tepelné, či jiné, a proto je nutno volit správné parametry pro efektivitu výroby.

Toto téma k vypracování mi bylo nabídnuto od společnosti Pramet Tools s.r.o. (dále jen Pramet), která se zabývá především výrobou nástrojů pro obrábění. Tato společnost si je vědoma nutnosti vývoje nové VBD určené pro frézování korozivzdorných ocelí. To bylo hlavním impulsem pro zadání této zajímavé práce. Jedním z cílů je získat poznatky o vlastnostech korozivzdorných ocelí při čelním rovinném frézování. Tyto vlastnosti budou zjištěny při praktických zkouškách na vybraných korozivzdorných ocelích. Hlavním cílem této práce je zjistit nejefektivnější geometrii VBD.

## **1 Korozivzdorné oceli**

Korozivzdorné oceli patří do skupiny ušlechtilých legovaných ocelí, u nichž je zaručováno přesné chemické složení, speciální podmínky výroby a specifické podmínky zkoušení. Tyto oceli obsahují minimálně 10,5 % chromu a v porovnání s nelegovanými oceli vykazují výrazně lepší odolnost proti korozi. Vyšší obsahy chromu a další podíly legujících prvků, jako například nikl a molybden, korozní odolnost dále zvyšují. Kromě toho je možné legovat ještě jinými prvky, které pozitivně ovlivňují další vlastnosti, například:

- niob, titan - odolnost proti mezikrystalické korozi,
- dusík - pevnost, korozní odolnost,
- síra - obrobiteľnosť. [1]

V oblasti použití korozivzdorných ocelí se zvyšují požadavky na jejich vlastnosti a k tomu vedou dvě hlavní cesty:

- vývoj korozivzdorných ocelí na základě nového nebo změněného chemického složení,
- zavedení progresivních technologií výroby stávajících korozivzdorných ocelí a jejich zpracování. [2]

V posledních letech se při zlepšování vlastností korozivzdorných ocelí většinou uplatňují nové technologie výroby, především metalurgické procesy zaměřené na zvýšení čistoty a vyšší kvalitu struktury korozivzdorných ocelí. V některých případech bývá korozivzdorná ocel vyvinuta pouze pro jeden konkrétní výrobní technologický proces. Každý typ korozivzdorné oceli má své specifické vlastnosti a korozní odolnost v konkrétních prostředích. [2]

### **1.1 Charakteristické vlastnosti korozivzdorných ocelí**

Korozivzdorné oceli se rozdělují podle struktury do těchto skupin:

- feritické,
- martenzitické,
- austenitické,
- austeniticko - feritické (duplexní).

## Feritické oceli

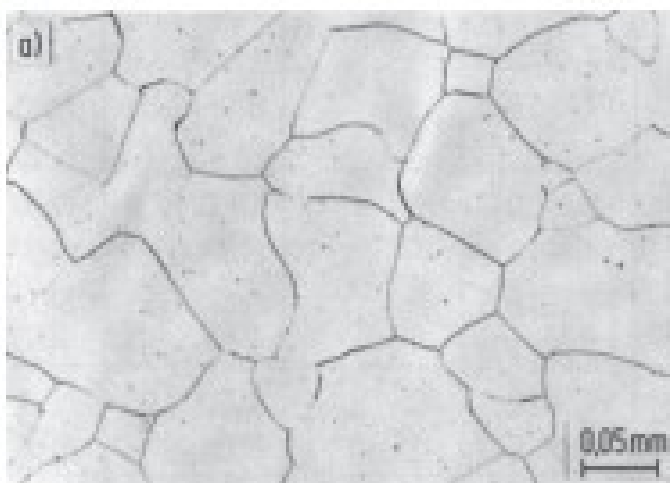
V hrubém rozdělení se feritické korozivzdorné oceli člení do dvou podskupin:

- s obsahem 11 až 13 % Cr,
- s obsahem 17 % Cr. [1]

Mechanické vlastnosti feritických ocelí předpokládají jemnozrnnou strukturu, které se dosahuje příslušným tepelným zpracováním těchto ocelí. V důsledku relativně nízkého obsahu chromu je korozní odolnost 11 - 12 % chromových ocelí omezena např. jen na atmosférické podmínky, nebo na vodnatá média, takže tyto oceli jsou zařazovány také jako „korozně málo aktivní“. [1]

U 17 % chromových ocelí se díky vyššímu obsahu chromu dosahuje vyšší odolnosti proti korozi. Legováním asi 1 % molybdenu se může odolnost proti korozi ještě zvýšit. [1]

Některé oceli obsahují titan nebo niob jako karbidotvorné prvky, které na sebe váží uhlík. Takové oceli jsou stále i po svařování bez doplňkového tepelného zpracování, a to i v případě větších tloušťek, jsou tedy stabilní proti mezikrystalové korozi. Zvláštní předností feritických korozivzdorných ocelí je to, že v protikladu k austenitickým chrom - niklovým ocelím vynikají vysokou odolností proti transkrystalické korozi při mechanickém napětí. [1]



**Obr. 1.1** Materiál 1.4511 s feritickou strukturou [1]

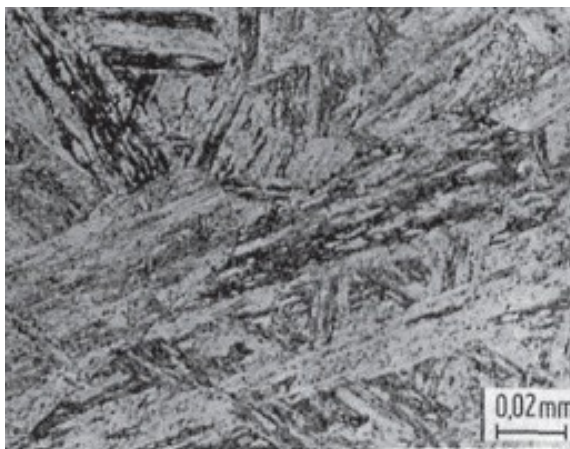
## Martenzitické oceli

V případě ocelí s 12-18 % Cr a s obsahy C od 0,1 % se jedná o oceli, které jsou při vysokých teplotách plně austenitické. Když se z austenitické oblasti rychle ochladí, tzn. zakalí, získají martenzitickou strukturu. Austenitizační teploty leží v závislosti na druhu oceli mezi 950 až 1050 °C. V zušlechtěném stavu se dosahuje vysokých hodnot pevnosti. U niklových martenzitických ocelí se role uhlíku ujímá nikl. Schopnost zakalení přitom zůstává zachována, aniž by se projevovaly nepříznivé účinky zvýšeného obsahu uhlíku (vylučování karbidů, vysoký nárůst tvrdosti). Oblast rozměrů, které jsou schopné zušlechtování, se rozšiřuje nad průměry přesahující 400 mm. Odolnost proti korozi se ještě zvyšuje přidávkem molybdenu. [1]

V závislosti na tvaru výrobku se martenzitické oceli dodávají v žíhaném nebo zušlechtěném stavu. Výrobky, dodávané ve stavu žíhaném na měkko, mohou být zpracovávány tvarováním za tepla nebo za studena dříve, než se provede zušlechtění. Zušlechtování zahrnuje kalení a navazující popouštění na teploty 650 až 750 °C. Popouštěním se snižuje pevnost a zvyšuje tažnost. Se zřetelem k lepší odolnosti proti korozi se doporučuje přesně dodržovat zadané teploty tepelného zpracování. [1]

**Tab. 1.1** Vliv obsahu uhlíku na tvrdost martenzitických korozivzdorných ocelí, kalených a popouštěných [1]

Obsah C v %	0,10	0,15	0,20	0,25	0,40	0,70	1,00
Tvrdost HRC	40	46	50	52	56	58	60



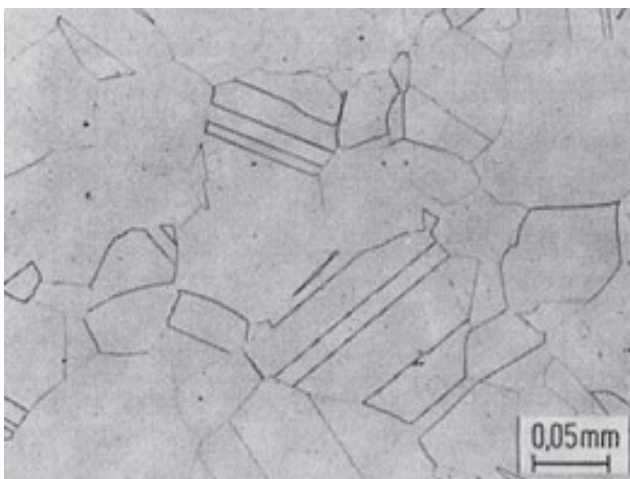
**Obr. 1.2** Materiál 1.4313 s martenzitickou strukturou [1]

## Austenitické oceli

Hlavními přísadovými prvky jsou chrom a nikl. Pokud k chromovým ocelím přidáme nikl, rozšíříme tím oblast  $\gamma$  v rovnovážném diagramu. Díky tomu získává ocel austenitickou strukturu i za běžných teplot. Pokud ocel obsahuje minimálně 8 % niklu, rekrytalizace je zcela potlačena. [3]

Za vysokých teplot, například u svařování, dochází k precipitování karbidu chromu a tím ochuzení oceli o chrom. Klesne-li obsah chromu pod 12 %, ocel je náchylná k interkrystalické korozi. Mělo se za to, že pokud se přidají stabilizační prvky jako niob, tantal, titan aj., odolnost proti interkrystalické korozi se opět zvýší, protože stabilizační prvky budou přednostně vázat karbidy, ovšem praktické zkoušky toto vyvrátily. Odolnost proti korozi opět vzroste, pokud se prodlouží výdrž u tepelného zpracování. Chrom začne difundovat ze středu zrna na hranice zrn a zvýší se tak jeho koncentrace. Je doporučeno rozpouštěcí žíhání při teplotě 1100 až 1150 °C s ochlazováním ve vodě nebo stabilizační žíhání při teplotě 800 až 850 °C po dobu několika hodin. [3]

Ani stabilizované oceli ovšem nejsou zcela odolné proti mezikrystalické korozi. Řešením je snížení obsahu uhlíku na maximální hodnotu 0,03 %, což dnešní moderní technologie při tavení dokážou. Výroba těchto ocelí je drahá, ale ocel obstojí před mezikrystalickou korozí i při svařování větších průměrů. [3]



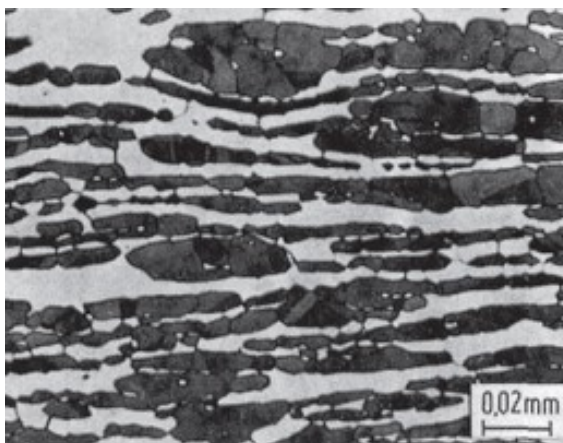
**Obr. 1.3** Materiál 1.4301 s austenitickou strukturou [1]

## **Austeniticko - feritické oceli**

Austeniticko - feritické oceli, které se vzhledem k jejich dvěma složkám struktury také často označují jako duplexní oceli, získávají stále na významu. [1]

Mez průtažnosti 0,2 je výrazně vyšší než u austenitických ocelí, přitom se dosahuje dobrých hodnot houževnatosti. Dále je třeba zdůraznit dobrou únavovou pevnost oceli, a to i v korozních médiích. Při pozorování korozní odolnosti austeniticko - feritických ocelí je tu v porovnání s austenitickými ocelmi třeba zdůraznit lepší odolnost proti napěťové korozi vyvolávané chloridy. [1]

Svařitelnost austeniticko - feritických ocelí nečiní při respektování předpisů pro postup svařování žádné problémy. Hlavní využití těchto ocelí je v chemickém průmyslu, v zařízeních na ochranu životního prostředí a v technice pro moře a pobřeží. [1]



**Obr. 1.4** Materiál 1.4462 s austeniticko-feritickou strukturou [1]

## **1.2 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí**

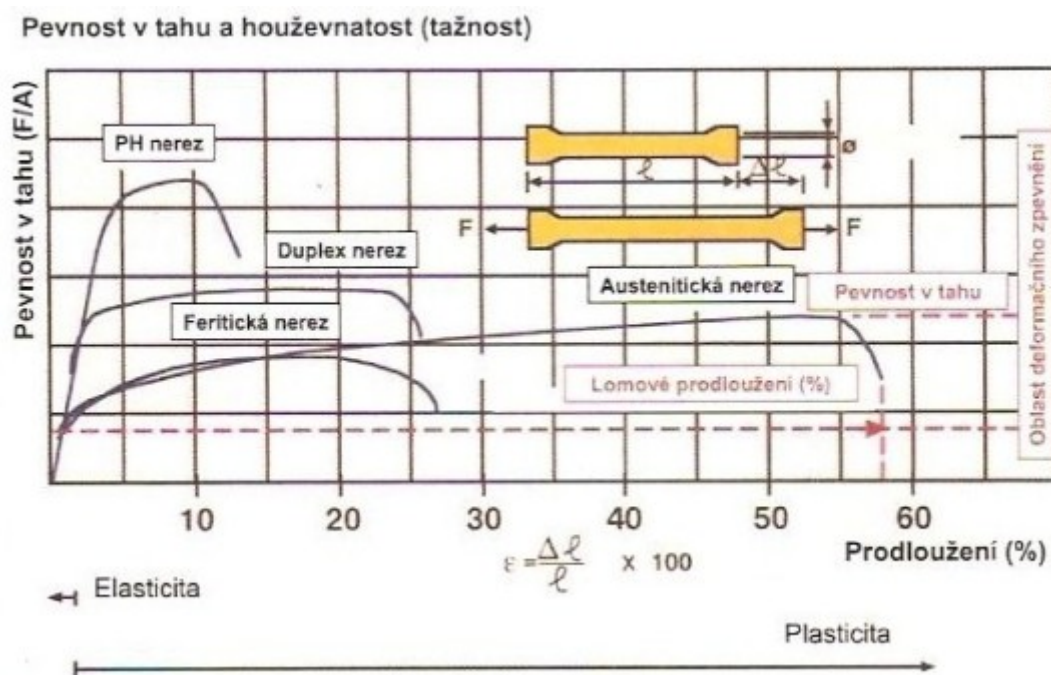
Obrobitelnost ovlivňuje mnoho faktorů. Těmi nejvýznamnějšími jsou:

- mechanické vlastnosti,
- chemické složení,
- tepelné vlastnosti,
- struktura materiálu,
- tepelné zpracování,
- původ polotovaru,
- vměstky. [4]

## Mechanické vlastnosti

Austenitické korozivzdorné oceli charakterizuje houževnatost a vysoké prodloužení. Při obrábění vzniká dlouhá tříska. Feritické, martenzitické a duplexní oceli charakterizuje nízké prodloužení. Během obrábění vznikají kratší třísky.

Další mechanickou vlastností materiálu je tvrdost. Tvrdost je odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Ocel s vysokou tvrdostí se musí obrábět vysokou řeznou rychlostí a naopak.



Obr. 1.5 Pevnost v tahu a houževnatost [4]

## Tepelná vodivost

Korozivzdorné oceli se vyznačují nízkou tepelnou vodivostí. To ztěžuje její obrábění. Velké množství vneseného tepla neodchází třískou, ale zůstává v místě řezu, kde negativně ovlivňuje řezný nástroj a obráběný materiál. Teplo se přenáší do řezného břitu a tím přispívá k jeho kratší životnosti. Většinou dojde k plastické deformaci. Teplota v místě řezu je až 900°C.

## Struktura materiálu

Během obrábění nerezových materiálů dochází k několika zpevňovacím mechanismům. Mezi hlavní patří:

- deformační zpevnění,
- zpevnění tuhého roztoku,
- zpevnění na hranici zrna,

- precipitační vytvrzování,
- disperzní zpevnění. [3]

Břit řezného nástroje se vtlačuje do obráběného materiálu, jestliže napětí přesáhne mez tažnosti, projeví se deformační zpevnění. Při obrábění oceli o tvrdosti HB 200 běžně dochází ke zpevnění povrchu až na hodnotu HB 400. [3]

### **Chemické složení**

Oceli obsahují různé přísadové prvky, které ovlivňují jejich vlastnosti jako je obrobiteľnosť, svařitelnost, korozní odolnost a další.

Obrobiteľnosť snižujú přísady:

- Nb, Mo, Cr, V, Ni, Ti, Si, karbidy wolframu a tantalu. [3]

Obrobiteľnosť nerezových materiálů zvyšují přísady:

- S, P, Ca, Pb, oxid Mn. [3]

## **1.3 Přehled používaných korozivzdorných ocelí na českém trhu**

Korozivzdorných ocelí je celá řada. Snahou bylo zjistit nejpoužívanější oceli na českém trhu. Bylo osloveno mnoho dodavatelů hutních materiálů, které korozivzdorné oceli jsou nejvíce poptávány a prodávány, případně v jakých objemech. Díky poskytnutým informacím bylo možné sestavit tabulku nejvíce používaných korozivzdorných ocelí na českém trhu. Tabulka se nachází v příloze A.

Počet hvězdiček udává míru použitelnosti korozivzdorných ocelí - čím více hvězdiček, tím více se používá ve výrobě.

## **2 Vlastnosti vybraných korozivzdorných ocelí**

K praktickým zkouškám byly vybrány tři typy korozivzdorných ocelí. Dle značení ČSN 10088-1 se jedná o oceli 1.4301, 1.4541 a 1.4404.



## Ocel 1.4301

1.4301 je chromniklová austenitická nestabilizovaná ocel, která je legována 17 - 19,5 % chromu, 8 - 10,5 % niklu a obsahuje méně než 0,07 % uhlíku. [5]

### Mechanické vlastnosti:

- Pevnost v tahu  $R_m$  520 - 720 N/mm<sup>2</sup>,
- mez kluzu  $R_p$  0,2 min. 210 N/mm<sup>2</sup>,
- tažnost A80 mm min. 45 %,
- žíhací teplota 1000 – 1100 °C,
- nemagnetická,
- nekalitelná. [5]

Ocel 1.4301 má sklon ke zpevňování za studena při tažení, nebo při třískovém obrábění nevhodnými řeznými podmínkami. Zpevnění vzniká přetvořením austenitu na deformační martenzit, který zvýší pevnost, sníží tažnost a způsobí magnetovatelnost. U profilů s větší plochou průřezu se může vyskytovat částečná magnetovatelnost v oblasti jádra profilu, která je způsobena zbytkovým martenzitem z vysokých teplot při výrobě. Deformační i zbytkový martenzit lze odstranit žíháním. Tyto změny struktury nemají vliv na korozní odolnost materiálu a svařitelnost. [5]

### Korozní odolnost

Ocel je odolná proti korozi v prostředí běžného typu (voda, slabé alkálie, slabé kyseliny, průmyslové a velkoměstské atmosféry) a náchylná k mezikrystalové korozi v oblasti tepelného ovlivnění (např. u svarů - CrC vznikají již od teploty 450 °C). [5]

### Použití

Běžné produkty k obecnému použití (gastronomická zařízení, vnější konstrukce, externí architektura, vodárny, zařízení ČOV ap.) mimo svařovaných konstrukcí s provařením přes 5 mm průvaru. U takových konstrukcí je po svaření nutné žíhání s následným tryskáním a mořením. Chemické složení vyhovuje normě pro použití výrobků pro potraviny a pitnou vodu. Max teplota 450 °C. [5]

## Ocel 1.4541

1.4541 je chromniklová austenitická stabilizovaná ocel, která je legována 17 – 19 % chromu, 9 – 12 % niklu, 0,4 - 0,7 % titanu a obsahuje méně než 0,08 % uhlíku. [6]

### Mechanické vlastnosti:

- Pevnost v tahu  $R_m$  500 - 700 N/mm<sup>2</sup>,
- mez kluzu  $R_p$  0,2 min. 200 N/mm<sup>2</sup>,
- tažnost A80 mm min. 40 %,
- žíhací teplota 1000 – 1100 °C,
- nemagnetická,
- nekalitelná. [6]

Ocel 1.4541 má sklon ke zpevňování za studena při tažení, nebo při třískovém obrábění nevhodnými řeznými podmínkami. Zpevnění vzniká přetvořením austenitu na deformační martenzit, který zvýší pevnost, sníží tažnost a může způsobit magnetovatelnost. U profilů s větší plochou průřezu se může vyskytovat částečná magnetovatelnost v oblasti jádra profilu - je způsobena zbytkovým martenzitem z vysokých teplot při výrobě. Tyto změny nemají vliv na korozní odolnost materiálu a svařitelnost. Leštitelná. [6]

### Korozní odolnost

Ocel je odolná proti korozi v průmyslových atmosférách, alkáliích a slabších kyselinách, včetně kyseliny dusičné a jejích výparů. Proti mezikrystalové korozi až do teplot ovlivnění 650 °C. [6]

### Použití

Korozně méně zatížená zařízení chemického průmyslu, papírenství. Dále svařované konstrukce, zásobníky, ČOV ap. Obsah Ni může být na hranici použitelnosti pro pitnou vodu. Pro potraviny ji lze použít. Max. teplota 650 °C. [6]

## Ocel 1.4404

1.4404 je chromniklová austenitická nestabilizovaná molybdenová nízkouhlíková ocel, která je legována 16,5 - 18,5 % chromu, 10 – 12 % niklu, 2 - 2,5 % molybdenu a obsahuje méně než 0,03 % uhlíku. [7]

### Mechanické vlastnosti:

- Pevnost v tahu  $R_m$  520 - 680 N/mm<sup>2</sup>,
- mez kluzu  $R_p$  0,2 min. 220 N/mm<sup>2</sup>,
- tažnost A80 mm min. 40 %,
- žíhací teplota 1000 – 1100 °C,
- nemagnetická,
- nekalitelná. [7]

Ocel 1.4404 má sklon ke zpevňování za studena při tváření, nebo při třískovém obrábění nevhodnými řeznými podmínkami. Tento jev nemá vliv na korozní odolnost. Se stoupající teplotou výrazně klesají hodnoty  $R_m$  a  $R_p$ . [7]

### Korozní odolnost

Ocel je odolná proti korozi v průmyslovém prostředí, zvláště proti důlkové korozi v přítomnosti chloridů. Je méně vhodná pro kyselinu dusičnou a její výpary. Není náchylná proti mezikrystalické korozi v oblastech tepelného ovlivnění. [7]

### Použití

Pro svařované konstrukce v agresivním prostředí průmyslového typu, v přímořském prostředí, chemicky upravovaná prostředí bazénů. Lze použít pro styk s potravinami. Použití pro styk s pitnou vodou je omezeno hraničním obsahem Ni. [7]

### **3 Experimentální zkoušky obrábění na vybraných korozivzdorných ocelích**

#### **3.1 Popis a charakteristika nástrojů a VBD**

Experimentální zkoušky byly prováděny na korozivzdorných ocelích 1.4301, 1.4541 a 1.4404 dle značení ČSN 10088-1. Fréza pro čelní frézování byla vybrána od švédské firmy Seco Tools A.B. (dále jen SECO), typ R220.43-0063-05-6A. Vyměnitelné břitové destičky (dále jen VBD), které budou podrobeny experimentálním zkouškám, byly vybrány od dvou firem, u kterých se předpokládá nejúspěšnější geometrie na trhu. Jedná se o VBD švédské firmy SECO a korejské firmy TaeguTec. Při výběru konkrétních typů VBD byl brán ohled na doporučení samotných výrobců VBD při obrábění těchto materiálů a zkušenosti pracovníků firmy Pramet. Jednotlivé VBD mají své konstrukce, které jsou popsány v následujících statích.

##### **3.1.1 Nástroje SECO**

Od firmy SECO byla vybrána fréza - určená pro čelní frézování (obr. 3.6):

- R220.43-0063-05-6A

a čtyři zástupci VBD a to ve dvou geometriích a dvou materiálech (obr. 3.9):

- OFMT050405TR-M14; F40M (PVD) a T350M (CVD)
- OFEX05T305TN-ME07; F40M (PVD) a T350M (CVD)

##### **Fréza typ R220.43-0063-05-6A**

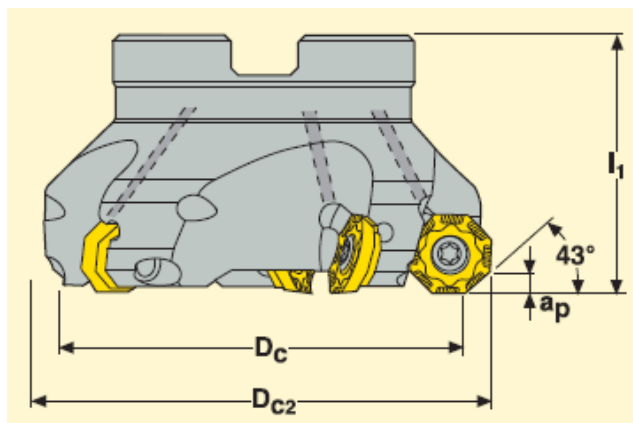
Všestranná čelní fréza pro různé typy frézovacích operací ve všech druzích materiálů. Disponuje pevnými lůžky a malou roztečí.

Technické parametry:

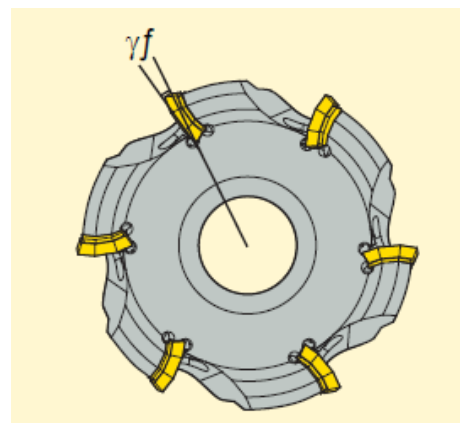
- pravotočivá,
- uchycení pomocí trnu,
- velikost břitových destiček 5 mm (délka řezné hrany),
- s otvory pro vnitřní chlazení.

**Tab. 3.1** Technické parametry frézy SECO [8]

Rozměry (mm)				Rozměry (°)				Počet zubů (-)	Hmotnost (kg)
$D_{c2}$	$D_c$	$l_1$	$a_p$	$\gamma_o$	$\gamma_p$	$\gamma_f$	$\kappa$	$z$	$m$
63	72	40	3,5	+15°	+15°	+5°	+43°	6	0,5



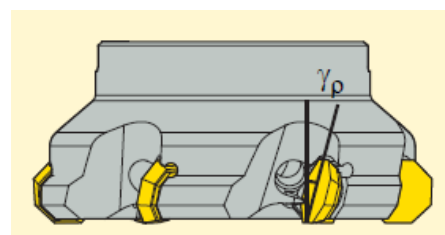
**Obr. 3.1** Rozměry nástroje [8]



**Obr. 3.2** Radiální úhel čela [8]



**Obr. 3.3** Úhel břitu nástroje [8]



**Obr. 3.4** Axiální úhel čela [8]

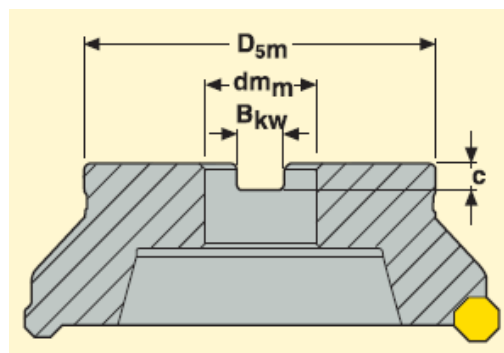
### Upínání VBD

VBD jsou upnuty šikmo umístěným šroubkem, který destičku přitlačuje do lůžka frézy. Dle katalogu SECO jsou použity šroubky typ C04008-T15P pro klíč typu Torx Plus T15P-3. Doporučený utahovací moment je 3,5 Nm.

### Upínání frézy na trn

**Tab. 3.2** Upínací rozměry frézy v mm [8]

Rozměry (mm)				Typ upnutí
$dm_m$	$D_{5m}$	$B_{kw}$	$c$	trn
22	47	10,4	6,3	22



**Obr. 3.5** Upínací rozměry frézy [8]



*Obr. 3.6 Fréza typ R220.43-0063-05-6A od firmy SECO*

#### **VBD OFEX05T305TN-ME07; F40M (T350M)**

Jedná se o VBD doporučenou výrobcem pro obrábění materiálů skupiny M dle ISO 513. Tento typ destičky je jako jediný ze čtyř zkoušených vzorků obvodově broušen. Dále je broušena dosedací plocha destiček. Fazetky a utvařec třisek na čele jsou přímo lisovány. Destičky jsou konstruovány s velmi ostrou geometrií a velkým úhlem čela. To přispívá k lehčímu zaříznutí do materiálu. Jedná se o osmihrannou destičku s délkou řezné hrany 5 mm. Úhel hřbetu je 26°.

VBD je vyrobena ze slinutého karbidu. Slinutý karbid je záměrně legován wolframem, kobaltem, chromem a uhlíkem. VBD s PVD povlakem s označením F40M (obr. 3.7) je určena pro jemné až středně hrubé frézování. Vynikající pro frézování s rizikem vzniku vibrací a při používání chladicí kapaliny. Povlak je také doporučován pro frézování vysoce legovaných slitin. Přidané legující prvky povlaku jsou titan, hliník a dusík. VBD s CVD povlakem s označením T350M je určen pro obtížně obrobitelné nerezové oceli a jako alternativní pro náročné operace v oceli. Tento povlak je záměrně legován Ti, C, N, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. [8]

### VBD OFMT050405TR-M14; F40M (T350M)

Stejně jako u předchozího typu, jedná se o VBD doporučenou výrobcem k obrábění materiálů skupiny M dle ISO 513. Na rozdíl od předchozího typu není obvodově broušená, tento typ destičky má broušenou pouze dosedací plochu. Navíc zde nejsou fazetky a utvařec třísek. Destičky jsou konstruovány s velmi ostrou geometrií a velkým úhlem čela, který přispívá k lehčímu „zařiznutí“ do materiálu. Jedná se o osmihrannou destičku s délkou řezné hrany 5 mm. Úhel hřbetu je 26°.

VBD je vyrobena ze slinutého karbidu s PVD i CVD povlakem. Slinutý karbid je záměrně legován wolframem, kobaltem, chromem a uhlíkem. Povlaky jsou stejné jako u předchozího typu VBD. [8]



**Obr. 3.7** OFEX05T305TN-ME07; F40M



**Obr. 3.8** OFMT050405TR-M14; F40M

Na obrázku 3.9 jsou zobrazeny výše uvedené typy VBD v krabičkách, včetně jejich variant v provedení s PVD povlakem (zlaté VBD) a s CVD povlakem (černé VBD).



**Obr. 3.9** Přehled VBD firmy SECO



### 3.1.2 Nástroje TaeguTec

Od korejského výrobce nástrojů pro obrábění byly vybrány dvě geometrie VBD.

#### **VBD OFMT05T3TN-ML; TT9080 (TT7800)**

Tento typ VBD doporučuje výrobce k obrábění materiálů skupiny M dle ISO 513. Broušena je pouze dosedací plocha destiček. Základní geometrie, fazetky a utvařec třisek je přímo lisován. Destičky jsou konstruovány s velmi ostrou geometrií a velkým úhlem čela. Díky tomu dochází k lehčímu „zařezávání“ do obráběného materiálu. K lepší orientaci polohy jednotlivých řezných hran přispívá lisovaný číselník. Jedná se o osmihrannou destičku s délkou řezné hrany 5 mm. Úhel hřbetu je 26°.

VBD je vyrobena ze slinutého karbidu s PVD povlakem a nese firemní označení TT9080 (obr. 3.10) a je legován titanem, hliníkem a dusíkem. Povlak je doporučován pro obrábění žáruvzdorných ocelí, litin, vysoce houževnatých ocelí a ocelí odolných proti opotřebení. [9]. VBD s CVD povlakem je označena jako TT7800

#### **VBD OFCT05T3TN-EM; TT9080 (TT7800)**

Tento typ VBD doporučuje výrobce k obrábění materiálů skupiny M dle ISO 513. Broušena je pouze dosedací plocha destiček. Připevnění destiček k fríze, stejně jako u všech předchozích typů, je pomocí šroubků. Utváření třisek zajišťuje lisovaný utvařec třisek. Fazetky jsou také přímo lisovány, nebroušeny. Destičky jsou konstruovány s velmi ostrou geometrií a velkým úhlem čela. Díky tomu dochází k lehčímu „zařezávání“ do obráběného materiálu. Jedná se o osmihrannou destičku s délkou řezné hrany 5 mm. Úhel hřbetu je 26°.

VBD jsou vyráběny ze slinutého karbidu s PVD povlakem s označením materiálu TT9080 (obr. 3.11). VBD s CVD povlakem je opět označena jako TT7800.



**Obr. 3.10** OFMT05T3TN-ML; TT9080



**Obr. 3.11** OFCT05T3TN-EM; TT9080



## **4 Praktické zkoušky obrábění**

Praktické zkoušky obrábění byly prováděny ve zkušebně obrábění firmy Pramet. Zkoušky byly zaměřeny na utváření třísky v místě řezu a trvanlivostní zkoušky obrábění.

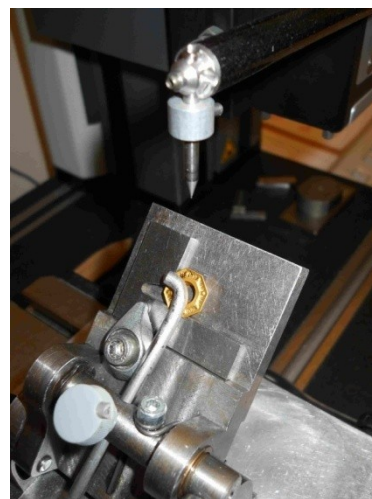
Vlastním zkouškám obrábění předcházelo proměření testovaných VBD SECO a Taegutec. Měření je zaměřeno na zjištění skutečných rozměrů VBD, především na zaoblení řezných hran a velikost fazetek u testovaných VBD.

### **Měření zaoblení řezných hran**

Měření zaoblení řezných hran bylo prováděno v metrologickém pracovišti firmy Pramet. K měření byl použit přístroj Perthometer PCV (obr 4.1). Jedná se o stacionární zařízení na měření drsnosti povrchu od firmy Mahr. Jedná se však o multifunkční přístroj, který zvládá mimo jiné měřit a vyhodnotit zaoblení. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce, která se nachází v příloze B.



**Obr. 4.1** *Perthometer PCV*



**Obr. 4.2** *Detail upnutí VBD*

### **Měření velikosti fazetek**

Měření velikosti fazetek bylo prováděno na pracovišti ve firmě Pramet, konkrétně ve zkušebně. Měření bylo prováděno pomocí dílenského mikroskopu s mikrometrickým šroubem. Jedná se o univerzální přístroj, který slouží zejména k bezkontaktnímu měření ve dvou na sebe kolmých osách ve vodorovné rovině. Přenos rozměrů je digitalizován. VBD OFMT050405TR-M14 nemá fazetku, tudíž u tohoto typu neproběhlo měření. Výsledky měření jsou zapsány v tabulce, která se nachází v příloze B.



*Obr. 4.3 Dílenský mikroskop*

#### **4.1 Utváření třísky v místě řezu**

Praktické zkoušky zaměřené na utváření třísky probíhaly na frézce typ FCV 63 SCA (obr. 4.4). Technické parametry frézky jsou uvedeny v tabulce 4.1.



*Obr. 4.4 Frézka FCV 63 SCA*

**Tab. 4.1** Technické parametry frézky FCV 63 SCA [10]

Název celku	Velikost
<i>Stůl</i>	
Upínací plocha stolu	630 x 2200 mm
Maximální zatížení stolu	2000 kg
<i>Pracovní rozsah</i>	
Osa X-Y-Z	1500 - 630 - 630 mm
<i>Stroj</i>	
Délka x šířka x výška	4180 x 3010 x 3225 mm
Jmenovitý výkon	32 kW
Maximální otáčky vřetena	3000 ot · min <sup>-1</sup>
Kužel ve vřetení	ISO 50

Zkoušky byly zaměřeny na sledování utváření třísek v místě řezu. Praktické zkoušky probíhaly tím způsobem, že došlo k upnutí první obráběné korozivzdorné oceli. Následně došlo k získání 4 vzorků třísek. Poté se do frézy namontoval další typ VBD. Po vystřídání všech čtyř typů VBD s CVD povlakem (2 geometrie SECO + 2 geometrie Taegutec) byla vyměněna první korozivzdorná ocel za následující a pokračovalo se ve stejném sledu. Frézování probíhalo s plným osazením VBD ve fréze. Jelikož zkušební kvádry jednotlivých ocelí byly výpalky, první došlo k zaváděcímu projetí frézy. Tím se na zkušebním kvádru získala rovina a zajistil se konstantní průřez třísky. Vstupní kvádry korozivzdorných ocelí měly rozměry 300 x 300 x 100 mm.



**Obr. 4.5** Před zahájením zkoušek



**Obr. 4.6** Fréza osazená VBD



## Měření drsnosti

Během zkoušek utváření třísek byly měřeny rovněž drsnosti obrobené plochy (obr. 4.7), vzhledem k tomu že jakost obrobeného povrchu je také jeden z důležitých parametrů. Měření drsnosti obrobeného povrchu probíhalo po každé změně řezných podmínek, tedy po každém pracovním přejezdu nástroje. Naměřené hodnoty se nachází v tabulce, která je umístěna v příloze C. Některé z naměřených hodnot jsou ohraničeny závorkou. Je to z toho důvodu, že naměřené hodnoty byly vyšší než pracovní rozsah měřicího přístroje. Hodnota drsnosti byla sice naměřena, ale nelze ji garantovat.

Drsnost byla měřena drsnoměrem Jenoptik Hommel - Etamic W5 (obr. 4.8). Jedná se o přenosný a velice výkonný drsnoměr. Díky ergonomickému tvaru a vhodnému rozložení tlačítek dochází k jednoduché manipulaci. Technické parametry drsnoměru jsou uvedeny v tabulce 4.2.

**Tab. 4.2** *Technické parametry přístroje [11]*

Název celku	Velikost
Celková dráha měřeného úseku	až 17,5 mm
Dráha měřeného úseku dle ISO/JIS	1,5 / 4,8 / 15 mm
Měřicí rozsah snímače / rozlišení	320 um (-210 až + 110) / 0,01 um
Pojezdová rychlost	0,15 / 0,5 / 1 mm/s, návrat 3mm/s
Třída přesnosti	1 ( $\pm 5$ %) DIN 4772
Filtry	4 druhy



**Obr. 4.7** *Měření drsnosti*



**Obr. 4.8** *Drsnoměr s příslušenstvím*

## Měření tvrdosti obrobků

Během funkčních zkoušek byla také měřena tvrdost jednotlivých korozivzdorných ocelí. Měření bylo prováděno na obrobené ploše tvrdoměrem EQUOTIP, který je na obrázku 4.9 a 4.10. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze C. [12]



*Obr. 4.9 Tvrdoměr EQUOTIP*



*Obr. 4.10 Tvrdoměr s příslušenstvím*

### 4.1.1 Volba řezných podmínek

Při volbě řezných podmínek byl brán ohled na doporučení výrobců VBD a zkušeností pracovníků firmy Pramet. Například firma SECO doporučuje pro obě své VBD posuv na zub 0,09 až 0,18 mm (tab. 4.3).

*Tab. 4.3 Řezné podmínky SECO*

Název	Hodnota	
Hloubka $a_p$	1 a 2,5 mm	
Šířka záběru $a_e$	50 mm	
Řezná rychlost $v_c$	150 m · min <sup>-1</sup>	
Otáčky $n$	758 min <sup>-1</sup>	
Posuv na zub $f_z$	0,09 mm · zub <sup>-1</sup>	0,18 mm · zub <sup>-1</sup>
Posuv $f$	409 mm · min <sup>-1</sup>	819 mm · min <sup>-1</sup>

## 4.2 Trvanlivostní zkoušky obrábění

Trvanlivostní zkoušky probíhaly na frézovacím centru MCV 1270 Power od společnosti Kovosvit MAS.



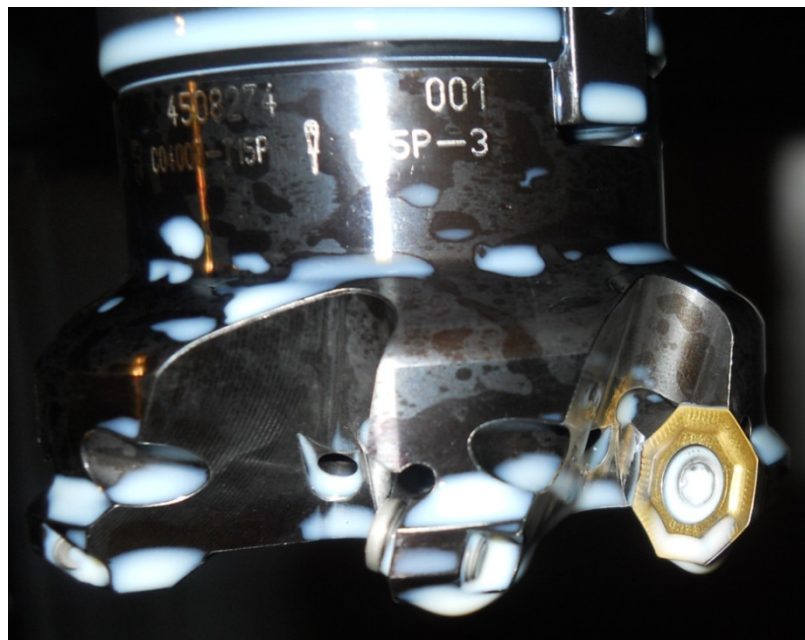
**Obr. 4.11** Frézovací centrum MCV 1270 Power

**Tab. 4.4** Technické parametry frézky [13]

Název celku	Velikost
<i>Stůl</i>	
Upínací plocha stolu	1500 x 670 mm
Maximální zatížení stolu	1200 kg
<i>Pracovní rozsah</i>	
Osa X - Y - Z	1270 - 610 - 720 mm
<i>Stroj</i>	
Délka x šířka x výška	5000 x 3600 x 3330 mm
Výkon motoru S1/S6 – 25 % (40 %)	ISO 40 (28/43); ISO 50 (28/43) kW
Maximální otáčky vřetena	8000 ot · min <sup>-1</sup>
Počet míst v zásobníku	30 ks (ISO 40); 24 ks (ISO 50)

Cílem této praktické zkoušky obrábění bylo zjistit skutečné hodnoty opotřebení jednotlivých VBD při stejných řezných podmínkách. Praktické zkoušky trvanlivosti VBD probíhaly pouze s jednou destičkou, viz obrázek 4.9, kde je zřetelné osazení frézy jednou VBD. Zkoušení probíhalo opět na všech vybraných typech korozivzdorných

ocelí. Na jednom upnutém kvádru se postupně vystřídaly všechny 4 typy VBD až do své destrukce, respektive do stavu, kdy se výrazně změnila jejich řezná geometrie vlivem opotřebení. Poté došlo k výměně korozivzdorné oceli a celý proces se opakoval. Trvanlivostní zkoušky probíhaly s destičkami s PVD povlaky.



*Obr. 4.12 Upnutí VBD ve fríze*

#### **4.2.1 Volba řezných podmínek**

Při volbě řezných podmínek byl brán ohled na doporučení výrobců VBD a zkušeností pracovníků firmy Pramet. Frézování probíhalo za intenzivního chlazení.

*Tab. 4.5 Řezné podmínky trvanlivostních zkoušek*

Název	Hodnota
Hloubka řezu $a_p$	2 mm
Šířka záběru $a_e$	50 mm
Řezná rychlost $v_c$	120 m*min <sup>-1</sup>
Otáčky $n$	606 min <sup>-1</sup>
Posuv na zub $f_z$	0,12 mm*zub <sup>-1</sup>
Posuv $f$	73 mm*min <sup>-1</sup>
Obráběná délka $l$	600 mm
Chlazení	ANO

## **5 Vyhodnocení zkoušek obrábění**

Vyhodnocení zkoušek obrábění je rozděleno do tří podkapitol. První kapitola se týká utváření třísek, druhá se věnuje vyhodnocení trvanlivostních zkoušek a ve třetí následuje návrh řešení koncepce nástroje.

### **5.1 Utváření třísek v místě řezu**

Jednalo se o praktické zkoušky zaměřené na utváření třísek v místě řezu s následným odběrem a vyhodnocením.

#### **Charakteristika třísek**

Při charakteristice třísky analyzujeme tvar třísky, její tloušťku a další parametry. Všeobecnou snahou je, aby co nejvíce tepla vzniklého během obrábění odcházelo třískou a teplota neovlivňovala jak obráběný materiál, tak samotný nástroj. Je důležité, aby odchod třísek byl hladký a nepoškozoval obrobený povrch a nástroj.

Nejvíce nám charakteristiku třísky ovlivňuje:

- hloubka řezu  $a_p$ ,
- řezná rychlost  $v_c$ ,
- posuv na zub  $f_z$ ,
- a utvařec třísek.

Důležitou vlastností třísky je, aby docházelo k pravidelnému lámání a utváření třísky. Z velké části tvar třísky ovlivňuje utvařec třísek nalisovaný na čele VBD. Nejlepší utváření třísky probíhalo u VBD od společnosti Seco Tools, konkrétně OFEX05T305TN-ME07; T350M, a to za všech řezných podmínek. Ostatní tři typy VBD také uspokojivě utvářely třísky, ovšem při některé změně řezných parametrů docházelo k ohýbání třísek. Je to z důvodu nesnadného odvodu třísek, což může ovlivnit jakost obrobeného povrchu. Zpravidla k tomuto jevu docházelo při řezné hloubce 2,5 mm.

U jednotlivých typů VBD si třísky v drtivé většině uchovávaly svůj pravidelný tvar. Jedná se o spirálový tvar, dále velikost třísek odpovídá řezné hloubce  $a_p$  a posuvu na zub  $f_z$ . Jednotlivé tvary třísek lze vidět v příloze C.



## Měření drsnosti

Z tabulek 5.1 a 5.2 přiložených níže je zřejmé, že nejlepších drsností se dosahovalo s destičkami od firmy SECO. Také rozdíly hodnot mezi  $R_a$  a  $R_z$  jsou oproti konkurenci TaeguTec daleko menší. Už při samotném zkoušení byl povrch na pohled i dotek velice hladký. Některé hodnoty jsou v závorkách. Je to z toho důvodu, že naměřená hodnota je vyšší než pracovní rozsah drsnoměru. Hodnota je sice naměřena, ale nelze ji garantovat.



**Obr. 5.1** Obrobený povrch

**Tab. 5.1** Dosažené hodnoty  $R_a$  a  $R_z$  při hloubce řezu  $a_p = 1 \text{ mm}$

Typ VBD	Obráběná ocel	Posuv na zub $f_z$ (mm · zub <sup>-1</sup> )	Drsnost $R_a / R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	Posuv na zub $f_z$ (mm · zub <sup>-1</sup> )	Drsnost $R_a / R_z$ ( $\mu\text{m}$ )
OFMT050405TR-M14; T350M	1.4541	0,09	1,84 / (10,12)	0,18	0,54 / 3,22
	1.4404	0,09	0,46 / 2,91	0,18	0,77 / 3,81
	1.4301	0,09	0,29 / 2,06	0,18	0,46 / 3,03
OFEXO5T305TN-ME07; T350M	1.4541	0,09	0,26 / 2,40	0,18	0,30 / 2,12
	1.4404	0,09	0,17 / 1,11	0,18	0,20 / 1,22
	1.4301	0,09	0,98 / 7,05	0,18	0,23 / 1,88
OFMT05T3TN-ML; TT9080	1.4541	0,09	1,63 / (8,62)	0,18	2,20 / (9,59)
	1.4404	0,09	2,66 / (11,30)	0,18	2,39 / (11,51)
	1.4301	0,09	3,62 / (14,43)	0,18	2,64 / (11,69)
OFCT05T3TN-EM; TT9080	1.4541	0,09	2,49 / (10,68)	0,18	3,88 / (16,56)
	1.4404	0,09	1,02 / 5,51	0,18	1,51 / 6,77
	1.4301	0,09	2,90 / (11,29)	0,18	2,87 / (15,07)

**Tab. 5.2** Dosažené hodnoty  $R_a$  a  $R_z$  při hloubce řezu  $a_p = 2,5 \text{ mm}$

Typ VBD	Obráběná ocel	Posuv na zub $f_z$ (mm · zub <sup>-1</sup> )	Drsnost $R_a / R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	Posuv na zub $f_z$ (mm · zub <sup>-1</sup> )	Drsnost $R_a / R_z$ ( $\mu\text{m}$ )
OFMT050405TR-M14; T350M	1.4541	0,09	0,60 / 3,78	0,18	0,74 / 4,14
	1.4404	0,09	0,52 / 3,03	0,18	1,17 / 6,27
	1.4301	0,09	0,36 / 2,45	0,18	1,01 / 5,67
OFEXO5T305TN-ME07; T350M	1.4541	0,09	0,40 / 2,54	0,18	0,48 / 3,90
	1.4404	0,09	0,53 / 4,78	0,18	0,35 / 2,33
	1.4301	0,09	0,15 / 1,04	0,18	0,24 / 1,80
OFMT05T3TN-ML; TT9080	1.4541	0,09	1,73 / 8,73	0,18	2,64 / (12,67)
	1.4404	0,09	1,99 / (10,83)	0,18	2,52 / (12,39)
	1.4301	0,09	3,14 / (16,05)	0,18	4,21 / (18,17)
OFCT05T3TN-EM; TT9080	1.4541	0,09	1,15 / 5,65	0,18	2,82 / (12,83)
	1.4404	0,09	1,09 / 5,83	0,18	1,33 / 7,84
	1.4301	0,09	2,23 / (11,25)	0,18	2,02 / (10,31)

Z hodnot drsností povrchů uvedených v tabulkách 5.1 a 5.2, je patrné, že nejlepších výsledků dosáhla VBD firmy SECO, typ OFEXO5T305TN-ME07; T350M (obr. 5.2) a to jak při hloubce řezu  $a_p = 1 \text{ mm}$ , tak při hloubce řezu  $a_p = 2,5 \text{ mm}$  při obou testovaných posuvech na zub  $f_z$ . Tomuto úspěchu zcela jistě pomohl i fakt, že tento typ destičky je jako jediný obvodově broušen.

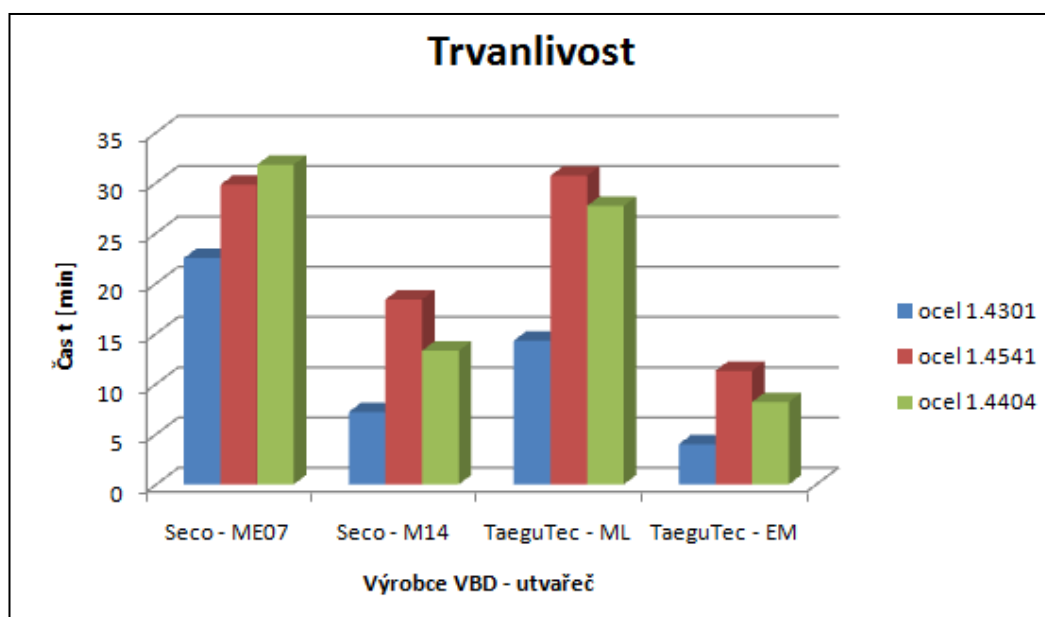


**Obr. 5.2** OFEXO5T305TN-ME07; T350M

## 5.2 Trvanlivostní zkoušky obrábění

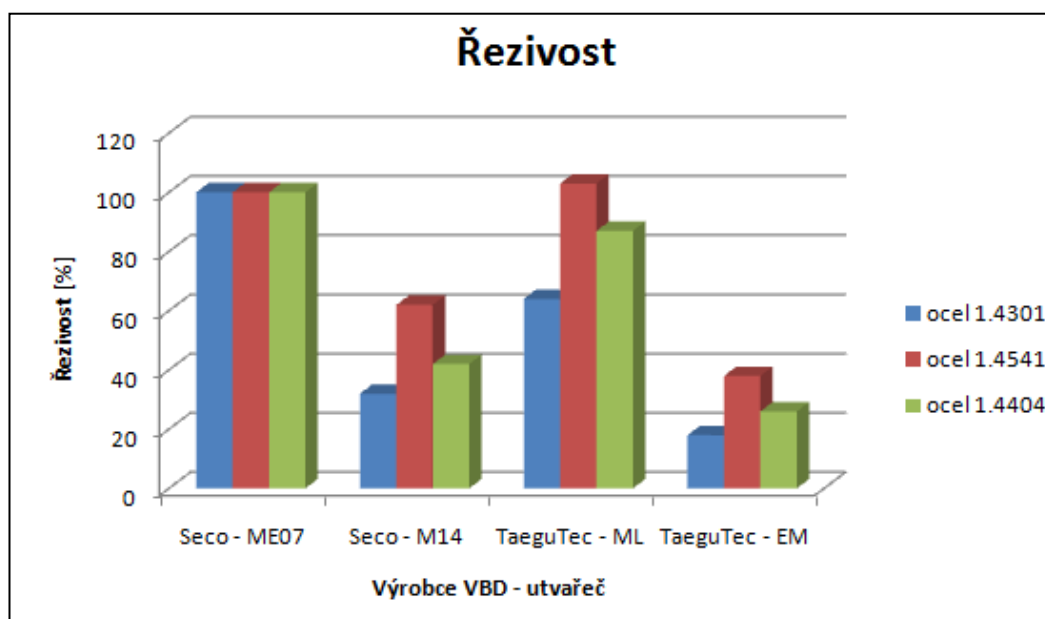
Jedná se o praktické zkoušky zaměřené na trvanlivost VBD. V grafu 5.1 je zřejmé, že ocel 1.4301 (160 HB) se hůře obrábí oproti ocelím 1.4541 a 1.4404 (obě 120 HB). Časy trvanlivostí jednotlivých VBD se nachází v příloze D.

*Graf 5.1 Trvanlivost VBD*



Dalším zkoumaným parametrem byla řezivost VBD. V rámci výsledků byly hodnoty řezivosti vztaženy k VBD firmy SECO, konkrétně typ OFEX05T305TN-ME07; F40M. Graf 5.2 byl sestaven z průměrných hodnot, které se nachází v příloze D.

*Graf 5.2 Řezivost VBD*

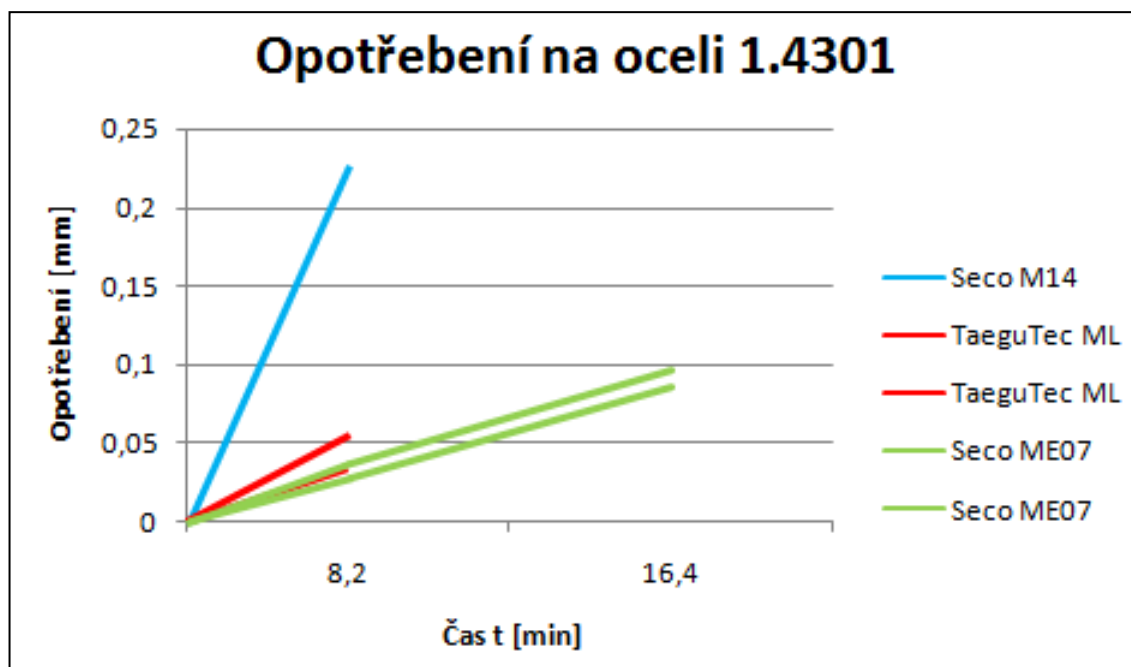


Trvanlivost jednotlivých VBD víceméně souvisí s opotřebením řezného klínu. V následujících odstavcích se nachází shrnutí trvanlivostních zkoušek vzhledem k opotřebení. Během trvanlivostních zkoušek docházelo ke sběru dat. Po každém přejezdu frézy, časový interval 8,2 minut, se fotila VBD pro lepší názornost opotřebení čela a hřbetu a také docházelo k měření velikosti opotřebení.

### Opotřebení na oceli 1.4301

Tento typ korozivzdorné oceli byl velice obtížně obrobitelný. Naměřená tvrdost oceli je 160 HB. Na grafu 5.3 je zřejmé, že na této korozivzdorné oceli absolutně neobstála VBD od firmy TaeguTec s geometrií EM – na grafu chybí, obrábění muselo být přerušeno před prvním měřeným úsekem z důvodu zásadního opotřebení VBD. Špatných výsledků také dosáhla VBD firmy SECO geometrií M14. U VBD firmy SECO docházelo k drolení řezné hrany, u konkurenčního TaeguTecu se opotřebení projevilo jako vyštípnutí celé hrany nebo její části. Hodnoty opotřebení jsou uvedeny v příloze D. Průběh opotřebení v čase je vidět v tabulce 5.3. Nejlepších výsledků na této oceli dosáhla VBD firmy SECO s geometrií ME07.

**Graf 5.3** Průběh opotřebení hlavního břitu VBD na oceli 1.4301





**Obr. 5.3** Vyštípnutý břit na geometrii ML (TaeguTec)

**Tab. 5.3** Průběh opotřebení VBD na oceli 1.4301

Výrobce	Seco Tools	Seco Tools	TeaguTec	TeaguTec
Typ VBD	OFEX05T305TN-ME07; F40M	OFMT050405TR-M14; F40M	OFMT05T3TN-ML; TT9080	OFCT05T3TN-EM; TT9080
Vzorek	B4	A3	C0	D5
Opotřebení čela				
8,2 min				
16,4 min		---		---
24,6 min		---	---	---
Opotřebení hřbetu				
8,2 min				
16,4 min		---		---
24,6 min		---	---	---

## Opotřebení na oceli 1.4541

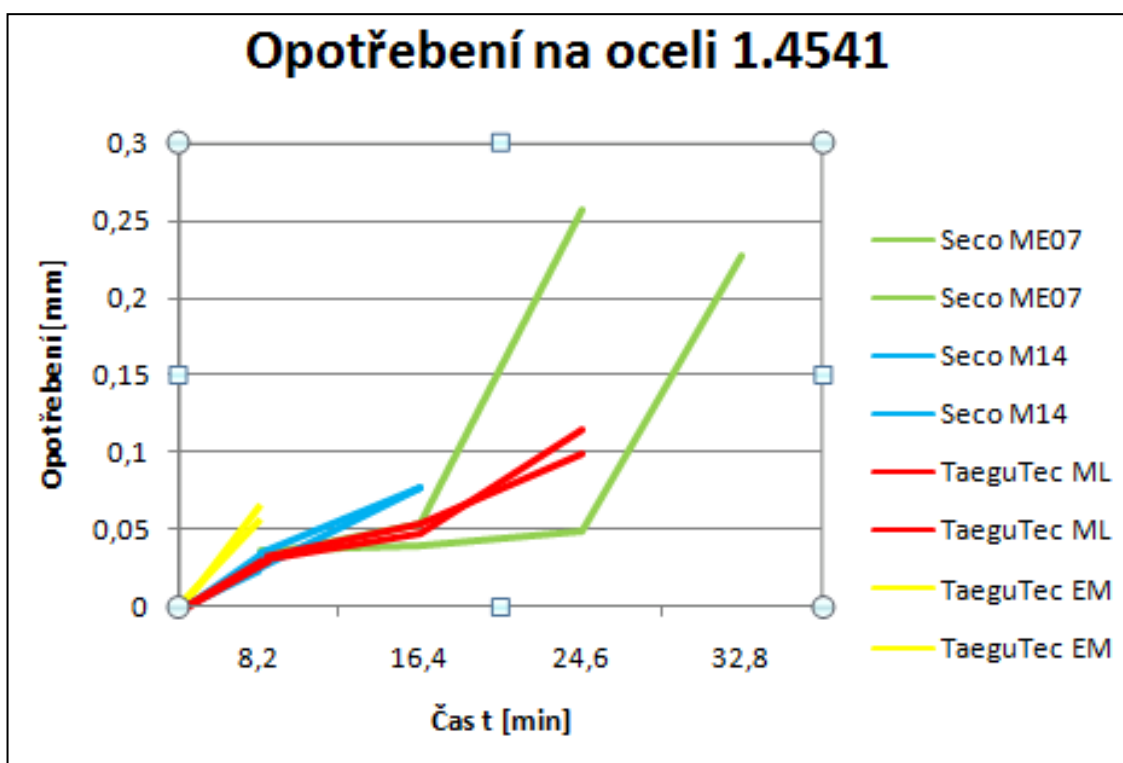
Tento druh korozivzdorné oceli se obráběl vzhledem k předchozí oceli poněkud snadněji. Naměřená tvrdost byla 120 HB. Na grafu 5.4 lze vysledovat, že geometrie EM od TeaguTecu je opět nevhodná. Dobrých výsledků dosáhly geometrie ME07 (SECO) a ML (TeaguTec).

Způsob opotřebení jednotlivých VBD:

- OFEX05T305TN-ME07; F40M – drolení řezné hrany
- OFMT050405TR-M14; F40M – drolení řezné hrany, následně vrub
- OFMT05T3TN-ML; TT9080 – drolení řezné hrany, následně její uštípnutí.
- OFCT05T3TN-EM; TT9080 – drolení a postupné vyštipování řezné hrany















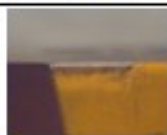
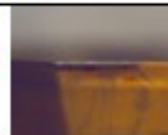
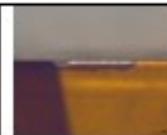
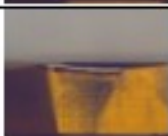


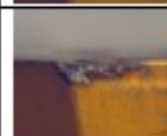

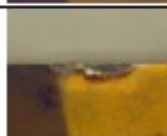

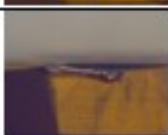

Jednotlivé hodnoty opotřebení jsou uvedeny v příloze D, vizuální podoba opotřebení po jednotlivých časových úsecích se nachází v tabulce 5.4.

*Graf 5.4 Průběh opotřebení hlavního břitu VBD na oceli 1.4541*





**Tab. 5.4** Průběh opotřebení VBD na oceli 1.4541

Výrobce	Seco Tools	Seco Tools	TeaguTec	TeaguTec
Typ VBD	OFEX05T305TN-ME07; F40M	OFMT050405TR-M14; F40M	OFMT05T3TN-ML; TT9080	OFCT05T3TN-EM; TT9080
Vzorek	B3	A2	C1	D4
Opotřebení čela				
8,2 min				
16,4 min				
24,6 min				---
32,8 min		---		---
Opotřebení hřbetu				
8,2 min				
16,4 min				
24,6 min				---
32,8 min		---		---

## Opotřebení na oceli 1.4404

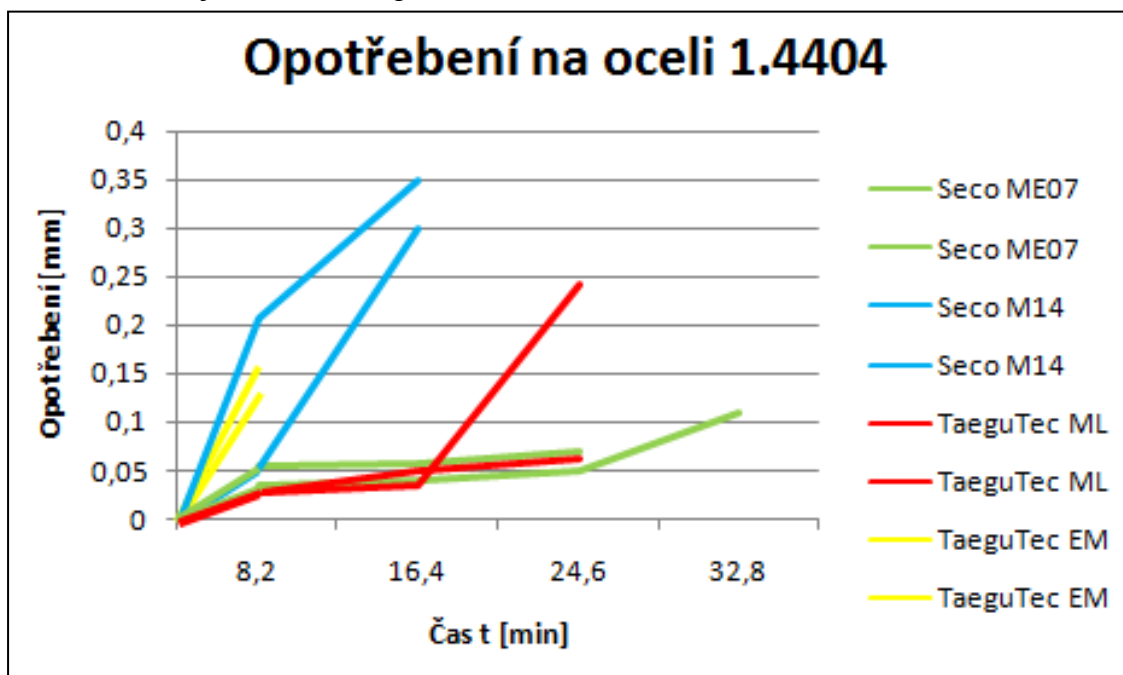
Korozivzdorné oceli 1.4404 byla naměřena tvrdost 120 HB a obráběla se snadněji než ocel 1.4301. Geometrie EM (TaeguTec) se opět jeví jako nevhodná pro obrábění této korozivzdorné oceli. Také VBD s geometrií M14 (SECO) nepřináší uspokojivé výsledky. Dobrou odolnost proti opotřebení má VBD s geometrií ME07 (SECO), případně ML (TaeguTec).

Způsob opotřebení jednotlivých VBD:

- OFEX05T305TN-ME07; F40M – drolení řezné hrany,
- OFMT050405TR-M14; F40M – uštípnutí řezné hrany,
- OFMT05T3TN-ML; TT9080 – drolení řezné hrany, tvorba vrubu na konci záběru,
- OFCT05T3TN-EM; TT9080 – drolení řezné hrany.













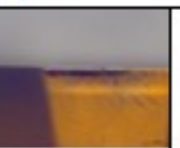
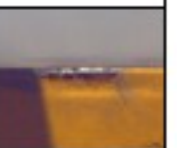


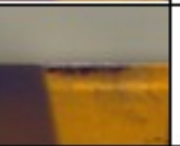

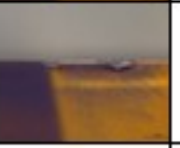

Jednotlivé hodnoty opotřebení jsou stejně tak jako v předchozích případech uvedeny v příloze D. Vizuální podoba opotřebení po jednotlivých časových úsecích na oceli 1.4404 se nachází v tabulce 5.5.

**Graf 5.5** Průběh opotřebení hlavního břitu VBD na oceli 1.4404





**Tab. 5.5** Průběh opotřebení VBD na oceli I.4404

Výrobce	Seco Tools	Seco Tools	TeaguTec	TeaguTec
Typ VBD	OFEX05T305TN-ME07; F40M	OFMT050405TR-M14; F40M	OFMT05T3TN-ML; TT9080	OFCT05T3TN-EM; TT9080
Vzorek	B1	A1	C4	D1
Opotřebení čela				
8,2 min				
16,4 min				---
24,6 min		---		---
32,8 min		---	---	---
Opotřebení hřbetu				
8,2 min				
16,4 min				---
24,6 min		---		---
32,8 min		---	---	---

### 5.3 Návrh řešení koncepce nástroje

Z dosažených výsledků, které byly získány během praktických zkoušek obrábění, můžeme navrhnout optimální geometrii VBD pro obrábění korozivzdorných ocelí takto:

- Obrábění korozivzdorných ocelí je obtížnější než obrábění běžných konstrukčních ocelí. Je vhodné používat silné destičky z hlediska tloušťky s velmi ostrou geometrií, tzn. s velkým úhlem čela (cca  $+26^\circ$ ) a ostrým břitem (tyto parametry nám umožní snazší „zařezávání“ do materiálu, respektive nižší řezné síly).
- Je vhodná geometrie s tvarem fazetky T, který zajišťuje vyšší pevnost břitu.
- Optimální šířka fazetky je od 0,1 mm.
- Hodnoty velikostí fazetek byly u obou zkoumaných konkurentů (SECO, TaeguTec), velice podobné, ovšem rádius zaoblení řezných hran se značně lišil. VBD od firmy SECO jevíly jiné známky opotřebení v delším časovém intervalu. Z toho lze usoudit, že menší rádius se zdá být výhodnější.
- Velmi důležité je také zamezení styku třísky s čelem řezného klínu, a to z důvodu tepelného zatížení. Je vhodné geometrii čela konstruovat tak, aby nedocházelo k neustálému kontaktu třísky s čelem. Konstrukčně lze provést spolu s utvařečem třísek. Utvařeč třísek je další nezbytná součást VBD, pokud chceme kvalitně obrobený povrch a vyšší životnost samotného nástroje. Utvařeč třísek zajišťuje utváření třísky.
- V neposlední řadě je třeba navrhnout vhodný povlak. Povlakováním je třeba zajistit vyšší otěruvzdornost, pevnost, tvrdost, odolnost proti nárůstu a nižší tepelnou vodivost.
- Dále je třeba si uvědomit, k čemu chceme, aby navržená destička sloužila. Pro dokončovací práce s jakostním povrchem je vhodné VBD obvodově brousit. Pro hrubování může stačit pouze lisovaná VBD. Ovšem zákazníka může zaujmout fakt, že obvodově broušenou VBD při hrubování dosáhne jakosti povrchu odpovídající operaci leštění.

## 6 Závěr

Předmětem bakalářské práce bylo čelní frézování korozivzdorných ocelí. Na samotném začátku byla provedena charakteristika korozivzdorných ocelí, s jejich vlastnostmi a rozdělením. Cílem bakalářské práce bylo nejen navrhnout nejefektivnější geometrii výměnné břitové destičky, ale hlavně tuto geometrii navrhnout pro nejobráběnější oceli. Bylo tedy nutné oslovit celou řadu dodavatelů hutních materiálů a s pomocí jejich informací byla sestavena tabulka nejvíce používaných korozivzdorných ocelí na českém trhu. Po pečlivém uvážení došlo k výběru tří korozivzdorných ocelí, na kterých se později prováděly praktické zkoušky. Ještě před započítím praktických zkoušek bylo nutné zjistit vlastnosti a použití v praxi vybraných ocelí. Následně došlo k proměření VBD. Tím byly zjištěny hodnoty zaoblení řezných hran a šířky fazetek.

První praktické zkoušky obrábění byly zaměřeny na utváření třísek při frézování. V nich všechny typy VBD, až na drobné výchyly, vykazovaly podobné utváření třísek. Nejlépe si ovšem vedla VBD od firmy SECO s geometrií ME07 (označení destičky OFEX05T305TN-ME07).

Druhé praktické zkoušky obrábění se věnovaly trvanlivosti jednotlivých VBD při konkrétních řezných podmínkách frézování. Nejlepších výsledků dosáhla opět VBD od firmy SECO s geometrií ME07. Lze konstatovat, že se jedná o nejúspěšnější provedení geometrie pro frézování vybraných korozivzdorných ocelí. Naopak geometrie od firmy TaeguTec s označením EM se ukázala jako naprosto nevyhovující pro obrábění korozivzdorných ocelí, i když je výrobcem pro tuto oblast doporučována. Bylo by zajímavé zkoumat tuto geometrii, jak by si vedla při obrábění nízkolegovaných ocelí.

Další kapitola byla věnována návrhu optimální geometrie VBD, v níž jsem přihlížel na dílčí výsledky při praktických zkouškách.

## **7 Seznam použité literatury**

- [1] URL <[http://euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties\\_CZ.pdf](http://euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf)>  
[cit. 2012-1-11]
- [2] URL <[http://ateam.zcu.cz/korozivzdorne\\_oceli\\_3.pdf](http://ateam.zcu.cz/korozivzdorne_oceli_3.pdf)> [cit. 2012-1-11]
- [3] Mohyla, M., *Strojírenské materiály I*. 2. vydání. Ostrava: VŠB – TUO, 2006. 146 s. ISBN 80 – 248 – 0270 – 8.
- [4] Příručka o frézování korozivzdorných ocelí (interní materiál společnosti Seco)
- [5] URL <<http://www.inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=16>> [cit. 2012-2-28]
- [6] URL <<http://www.inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=15>> [cit. 2012-2-28]
- [7] URL <<http://www.inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=11>> [cit. 2012-2-28]
- [8] URL<[http://www.secotools.com/CorpWeb/Downloads/seconews2\\_2011/MN/milling/Milling\\_2012\\_CZ\\_LR.pdf](http://www.secotools.com/CorpWeb/Downloads/seconews2_2011/MN/milling/Milling_2012_CZ_LR.pdf)> [cit. 2012-4-15]
- [9] URL<[http://www.taegutec.cz/katalogy/katalog\\_TaeguTec\\_Top.pdf](http://www.taegutec.cz/katalogy/katalog_TaeguTec_Top.pdf)>  
[cit. 2012-4-15]
- [10] Manuál frézky FCV 63 SCA
- [11] URL <<http://www.hommel-etamic.cz/produkty/hommel/hommel-etamic-w5>>  
[cit. 2012-4-26]
- [12] Návod k použití – měřicí zařízení EQUOTIP
- [13] URL <<http://www.kovosvit.cz/cz/mcv-1270/>> [cit. 2012-4-24]

Příloha A VALOŠEK, F., *Manuál ocelí*. Ostrava: Dům techniky Ostrava, spol. s r.o., 1993.

## **8 Seznam obrázků**

Obr. 1.1	Materiál 1.4511 s feritickou strukturou .....	11
Obr. 1.2	Materiál 1.4313 s martenzitickou strukturou .....	12
Obr. 1.3	Materiál 1.4301 s austenitickou strukturou .....	13
Obr. 1.4	Materiál 1.4462 s austeniticko-feritickou strukturou .....	14
Obr. 1.5	Pevnost v tahu a houževnatost .....	15
Obr. 3.1	Rozměry nástroje .....	21
Obr. 3.2	Radiální úhel čela .....	21
Obr. 3.3	Úhel břitu nástroje .....	21
Obr. 3.4	Axiální úhel čela .....	21
Obr. 3.5	Upínací rozměry frézy .....	21
Obr. 3.6	Fréza typ R220.43-0063-05-6A od firmy SECO .....	22
Obr. 3.7	OFEX05T305TN-ME07; F40M .....	23
Obr. 3.8	OFMT050405TR-M14; F40M .....	23
Obr. 3.9	Přehled VBD firmy SECO .....	23
Obr. 3.10	OFMT05T3TN-ML; TT9080 .....	24
Obr. 3.11	OFCT05T3TN-EM; TT9080 .....	24
Obr. 4.1	Perthometer PCV .....	25
Obr. 4.2	Detail upnutí VBD .....	25
Obr. 4.3	Dílenský mikroskop .....	26
Obr. 4.4	Frézka FCV 63 SCA .....	26
Obr. 4.5	Před zahájením zkoušek .....	27
Obr. 4.6	Fréza osazená VBD .....	27
Obr. 4.7	Měření drsnosti .....	28
Obr. 4.8	Drsnoměr s příslušenstvím .....	28
Obr. 4.9	Tvrdoměr EQUOTIP .....	29
Obr. 4.10	Tvrdoměr s příslušenstvím .....	29
Obr. 4.11	Frézovací centrum MCV 1270 Power .....	30
Obr. 4.12	Upnutí VBD ve fréze .....	31
Obr. 5.1	Obrobený povrch .....	33
Obr. 5.2	OFEXO5T305TN-ME07; T350M .....	34
Obr. 5.3	Vyštípnutý břit na geometrii ML (TaeguTec) .....	37

## **9 Seznam tabulek**

Tab. 1.1	Vliv obsahu uhlíku na tvrdost martenzitických korozivzdorných ocelí, kalených a popouštěných .....	12
Tab. 3.1	Technické parametry frézy SECO .....	21
Tab. 3.2	Upínací rozměry frézy v mm .....	21
Tab. 4.1	Technické parametry frézky FCV 63 SCA .....	27
Tab. 4.2	Technické parametry přístroje .....	28
Tab. 4.3	Řezné podmínky SECO .....	29
Tab. 4.4	Technické parametry frézky .....	30
Tab. 4.5	Řezné podmínky trvanlivostních zkoušek .....	31
Tab. 5.1	Dosažené hodnoty $R_a$ a $R_z$ při hloubce řezu $a_p = 1$ mm .....	33
Tab. 5.2	Dosažené hodnoty $R_a$ a $R_z$ při hloubce řezu $a_p = 2,5$ mm .....	34
Tab. 5.3	Průběh opotřebení VBD na oceli 1.4301 .....	37
Tab. 5.4	Průběh opotřebení VBD na oceli 1.4541 .....	39
Tab. 5.5	Průběh opotřebení VBD na oceli 1.4404 .....	41

## **10 Seznam grafů**

Graf 5.1	Trvanlivost VBD .....	35
Graf 5.2	Řezivost VBD .....	35
Graf 5.3	opotřebení hlavního břitu VBD na oceli 1.4301 .....	36
Graf 5.4	opotřebení hlavního břitu VBD na oceli 1.4541 .....	38
Graf 5.5	opotřebení hlavního břitu VBD na oceli 1.4404 .....	40

## **11 Seznam příloh**

Příloha A	Chemické složení korozivzdorných ocelí na českém trhu
Příloha B	Tabulka hodnot zaoblení řezných hran a velikostí fazetek
Příloha C	Diagramy utváření třísek porovnávaných VBD
Příloha D	Tabulka hodnot opotřebení, trvanlivostí a řezivostí